

УДК 004.932.2

Т.А. Рузова

*Днепропетровский национальный университет, Украина,  
49010, Украина, м. Дніпропетровськ, пр. Гагаріна, 72, E-mail: ruzov1973@bk.ru*

## **ДЕКОМПОЗИЦИЯ АГРЕГАТОВ СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ**

### **АННОТАЦИЯ**

Работа посвящена созданию метода сегментации агрегированных элементов дисперсных образований сферической формы (капель эмульсий) устойчивого к шумам изображения и позволяющего обрабатывать агрегаты сложной формы. Работа метода проиллюстрирована как на модельных изображениях, так и на фрагментах изображений реальных эмульсий второго рода (вода в масле).

Метод может быть использован при разработке систем измерения и анализа эмульсий и других микрообъектов.

**СКЕЛЕТ ИЗОБРАЖЕНИЯ, АГРЕГАТ, ДИСПЕРСНЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ, СЕГМЕНТАЦИЯ, ТОЧКИ ПРИСОЕДИНЕНИЯ ЧАСТИЦ**

### **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время диспергирование является основной частью многих технологических. Развитие компьютерных технологий привело к появлению принципиально нового инструмента контроля качества диспергации – измерению микрообъектов по видеоизображениям. К основным проблемам указанного метода диагностики относится сложность сегментации изображений изучаемых объектов: низкая контрастность, неоднородность освещения и зашумленность фона, решению которых посвящен ряд работ [1 – 4]. Другой, не менее важной проблемой является наличие слипшихся частиц – агрегированных образований, некорректная обработка которых приводит к существенному искажению результатов измерений. Ключевым моментом декомпозиции агрегированных объектов, в частности капель эмульсий, является поиск точек их стыковки.

Целью данной работы является создание метода сегментации агрегированных элементов дисперсных образований сферической формы (капель эмульсий) путем определения точек их стыковки в агрегате по данным о его структуре и контуре, устойчивого к шумам изображения и позволяющего обрабатывать агрегаты сложной формы.

### **МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ**

Общая схема метода для монохромного изображения выглядит следующим образом: после определения координат точек контура агрегата строится его скелет, на каждой ветке которого ищем точки присоединения капель – наиболее узкие места рассматриваемого агре-

гата – перешейки  $Q_1^{(1)}Q_2^{(1)}$ ,  $Q_1^{(2)}Q_2^{(2)}$ ,  $Q_1^{(3)}Q_2^{(3)}$  на рис. 1. Для этого в каждой точке  $P$  рассматриваемой ветки скелета  $AB$  строим перпендикуляр, находим точки  $P_1, P_2$  пересечения его с контуром агрегата. Назовем  $P_1P_2$  – внутренним участком перпендикуляра. Так как перешейки являются наиболее узкими участками агрегата, им соответствуют перпендикуляры с наиболее короткими внутренними участками.

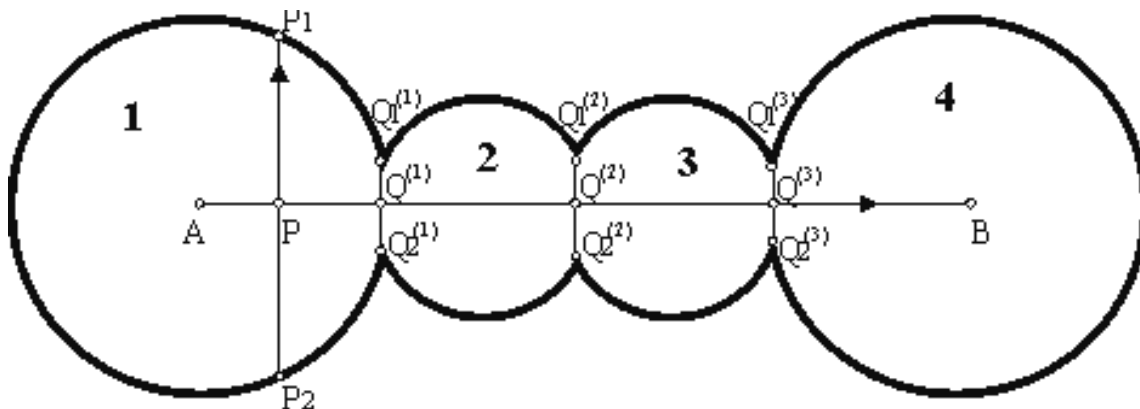


Рис. 1. Общая схема метода декомпозиции агрегатов дисперсных образований:  $AB$  – ветка скелета;  $P$  – произвольная точка ветки  $AB$ ;  $P_1, P_2$  – точки пересечения контура агрегата с перпендикуляром к  $AB$ , проведенным в точке  $P$ ;  $Q^{(1)}, Q^{(2)}, Q^{(3)}$  – точки минимума функции ширины агрегата;  $Q_1^{(1)}Q_2^{(1)}$ ,  $Q_1^{(2)}Q_2^{(2)}$ ,  $Q_1^{(3)}Q_2^{(3)}$  – точки присоединения капель

Но невыпуклость агрегата усложняет задачу, так как в общем случае прямая может пересекать контур невыпуклого объекта более чем в двух точках. В этом случае поиск перешейков требует специальной схемы. Рассмотрим ее более подробно.

Первым шагом метода является фильтрация изображения, перевод его в монохромный режим [5, 6]. Следующими этапами являются определение координат точек контура агрегата [3] и построение по ним его скелета.

Предложенный в [7] метод позволяет построить скелет агрегата в виде набора отрезков прямых линий между узлами ветвления. Последовательно перебирая ветви скелета, анализируем их положение относительно контура агрегата следующим образом. В каждой точке  $P$  растеризованной ветки  $AB$  скелета (рис. 1) строим перпендикуляр  $y = kx + b$ , точки  $P_1, P_2, \dots, P_N$  пересечения которого с контуром фигуры определяем, анализируя контур, из условия

$$|y - (kx + b)| \leq \varepsilon,$$

где  $x, y$  – координаты точек контура объекта.

Ввиду того, что в общем случае контур является невыпуклым  $N \geq 2$ . Разделим множество точек пересечения  $\bar{P} = \{P_1, \dots, P_N\}$  на два подмножества  $\bar{P}_+$  и  $\bar{P}_-$  точек, расположенных, соответственно, справа и слева относительно прямой  $AB$  (для наблюдателя, находящегося в точке  $P$ , лицом к точке  $B$ ), используя свойства векторного произведения векторов

$$\overline{PB} \times \overline{PP_i}, P_i \in \bar{P}. \quad (1)$$

Для точек, расположенных по одну сторону  $AB$ , выражение (1) сохраняет знак, а для точек расположенных по разные стороны – меняет на противоположный. В качестве границ внутреннего участка перпендикуляра выбираем ближайшие с обеих сторон из ( $\bar{P}_+$  и  $\bar{P}_-$ ) к  $P$

точки ( $P_1$  и  $P_2$  на рис. 1 и 2). В случае, когда все точки пересечения перпендикуляра с контуром располагаются по одну сторону от соответствующей ветки скелета, одно из множеств точек пересечения оказывается пустым  $\bar{P}_+ = \emptyset$  либо  $\bar{P}_- = \emptyset$  (рис. 2). В качестве границ внутреннего участка перпендикуляра выбираем ближайшие точки из оставшегося множества. В дальнейшем будем обозначать граничные точки внутреннего перпендикуляра в точке  $P$  как  $P_1$  и  $P_2$ .

Результатом этого этапа является построение для каждой точки  $P^{(i)}$  ветки АВ внутреннего перпендикуляра  $P_1^{(i)}P_2^{(i)}$ , длина которого  $L^{(i)}$  определяет ширину отвечающего АВ участка агрегата в точке  $P^{(i)}$ :

$$L_i = L(P^{(i)}) = |P_1^{(i)}P_2^{(i)}|.$$

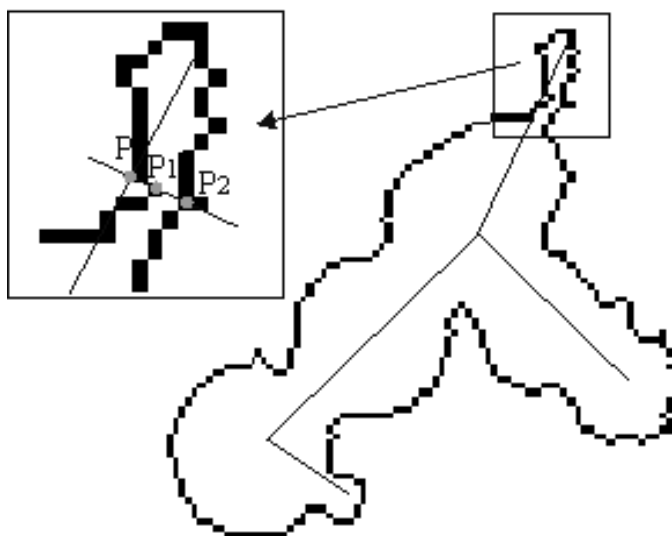


Рис. 2. Расположение граничных точек внутреннего перпендикуляра по одну сторону от ветки скелета: обозначения см. на рис.1

Места присоединения капель соответствуют локальным минимумам функции  $L$ . Назовем ее функцией ширины объекта. Для сглаживания функции  $L$  с целью уменьшения влияния шумов контура целесообразно использовать цифровые низкочастотные фильтры [8]. Процедуру сглаживания не целесообразно проводить при рассмотрении коротких веток скелета ( $M < 50$ ), чтобы не допустить потери элементов рельефа контура на участках, соответствующих местам присоединения капель малого (относительно всего агрегата) размера.

Ввиду того, что значения координат точек контура в растровой графике представлены целыми числами, идущие последовательно значения функции  $L$  часто совпадают. Чтобы упростить алгоритм поиска локальных минимумов этой функции, необходимо провести ее корректировку, линейно аппроксимируя функцию на участках, где ее значения совпадают.

Точку  $j_0$  функции  $L$  будем считать точкой перешейка, если выполняются следующие условия:

$$L_{j_0} < \bar{L}, \quad L_{j_0} < L_{j_0+i},$$

где  $\bar{L} = \frac{\sum_{i=0}^{M-1} L_i}{M}$ ,  $i = [-s/2; s/2]$ ;  $s$  – минимальный размер окрестности точки  $j_0$   $\{i: L_i < L_{j_0}\}$ .

Значение  $s$  выбираем, исходя из величины ветки скелета. Так,

$$\begin{aligned} M \leq 10, & \quad s = 3; \\ 10 < M \leq 50, & \quad s = 10; \\ M > 50, & \quad s = 0,2 M . \end{aligned}$$

Таким образом, для рассматриваемой ветки скелета АВ получаем множество точек  $Q^{(1)}, Q^{(2)} \dots Q^{(R)}$ , соответствующих точкам присоединения капель (рис. 1). Внутренние перпендикуляры  $Q_1^{(1)}Q_2^{(1)}, Q_1^{(2)}Q_2^{(2)}, \dots, Q_1^{(R)}Q_2^{(R)}$ , построенные в этих точках, разбивают отвечающий АВ участок агрегата на отдельные объекты (частицы). Граничные точки этих перпендикуляров являются точками присоединения частиц. По имеющимся точкам стыковки частиц распределяем точки границы агрегата между составляющими его объектами, включая внутренние перпендикуляры в контур обеих разделяемых ими частиц. Агрегат на рис. 1 разделим следующим образом:

$$\begin{aligned} \text{объект 1: } & \cup Q_1^{(1)}Q_2^{(1)} + Q_2^{(1)}Q_1^{(1)}; \\ \text{объект 2: } & Q_1^{(1)}Q_2^{(1)} + \cup Q_2^{(1)}Q_2^{(2)} + Q_2^{(2)}Q_1^{(2)} + \cup Q_1^{(2)}Q_1^{(1)}; \\ \text{объект 3: } & Q_1^{(2)}Q_2^{(2)} + \cup Q_2^{(2)}Q_2^{(3)} + Q_2^{(3)}Q_1^{(3)} + \cup Q_1^{(3)}Q_1^{(2)}; \\ \text{объект 4: } & Q_1^{(3)}Q_2^{(3)} + \cup Q_2^{(3)}Q_1^{(3)}. \end{aligned}$$

По информации о координатах точек контурах частиц  $(x_n, y_n)$ ,  $n = \overline{1, N}$ , составляющих агрегат, вычисляем для каждой из восстановленных частиц площадь  $S$  и периметр  $P$ . Радиус каждой частицы определяем как

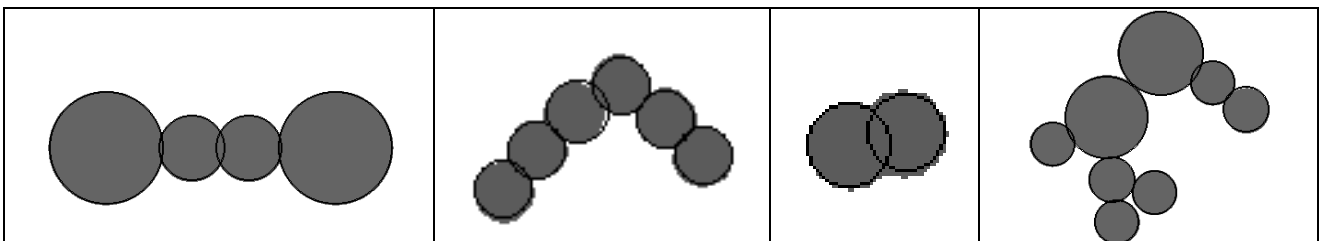
$$R = (R_1 + R_2) / 2,$$

где  $R_1 = \sqrt{S/\pi}$ ,  $R_2 = P/2\pi$  – радиусы окружностей, соответственно, той же площади и периметра, что и анализируемая фигура. Центр –

$$x_c = \sum_{n=0}^{N-1} x_n / N; \quad y_c = \sum_{n=0}^{N-1} y_n / N,$$

Окружности, соответствующие контурам капель, составляющих агрегат, могут быть восстановлены по известным параметрам. Таким образом, последовательно анализируем все ветки скелета агрегата.

Описанный метод разделения агрегатов проиллюстрирован на примере изображений аналитических фигур (рис. 3), а также реальных дисперсных образований – капель эмульсии второго рода (вода в масле) – рис. 4.



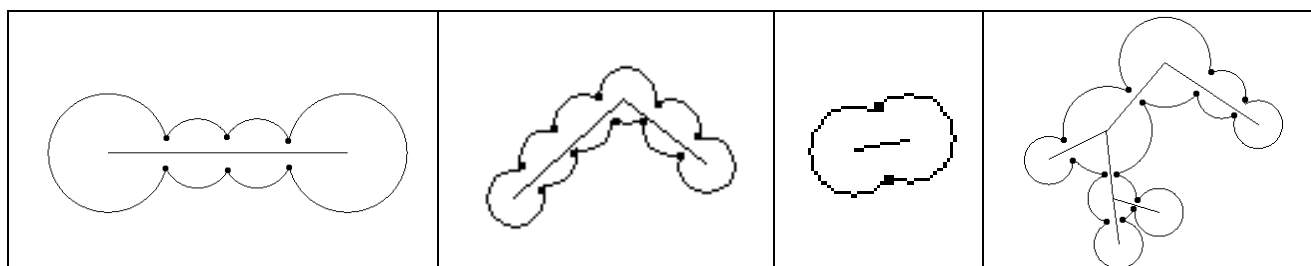


Рис. 3. Декомпозиция модельных объектов: линиями обозначены скелеты агрегатов, точками – точки стыковки частиц.

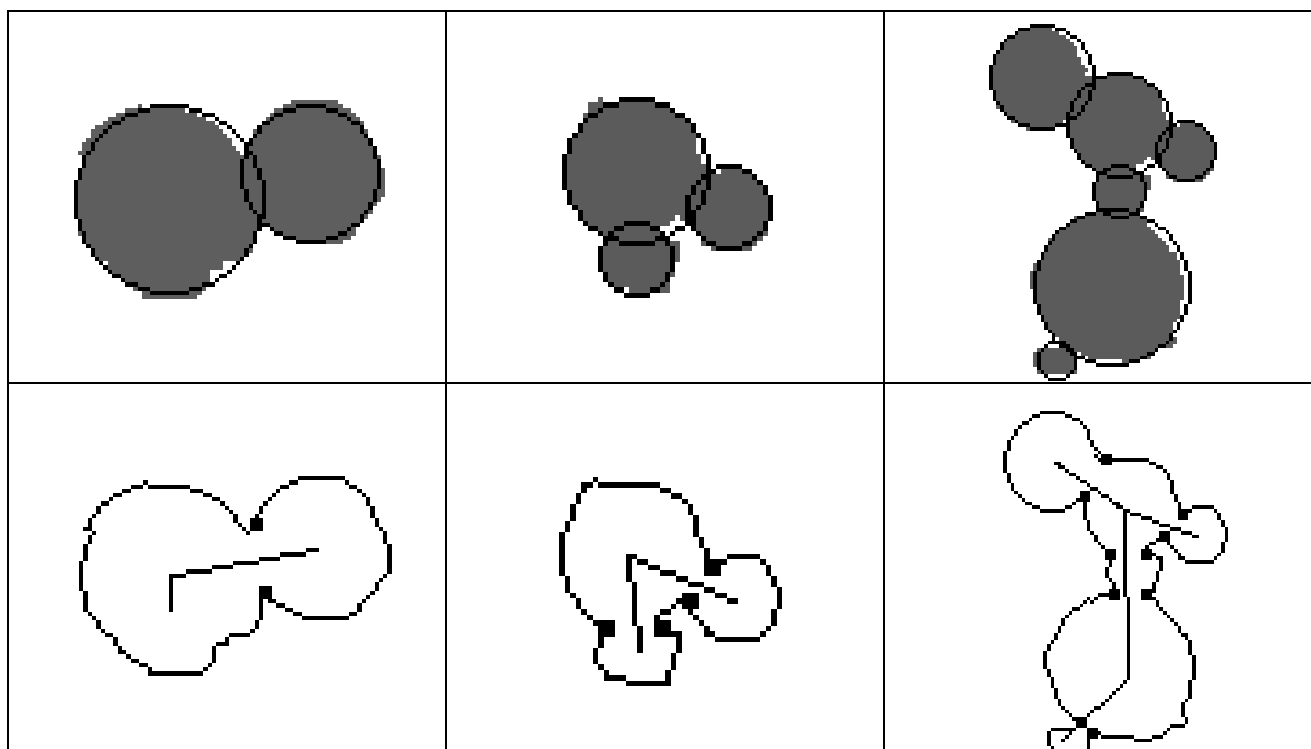


Рис. 4. Декомпозиция агрегатов реальных дисперсных образований

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ методов и алгоритмов обработки изображений микрообъектов показал, что одной из основных проблем сегментации, наряду с низкой контрастностью и зашумленностью фона, является разделение агрегированных объектов.

В данной работе предложен метод сегментации агрегатов, состоящих из частиц сферической формы, каковыми являются, например, капли эмульсий и многих дисперсных образований. Метод основан на информации о структуре и контурах агрегатов.

Метод включает несколько этапов: фильтрация исходного изображения, перевод в монохромный режим, определение координат точек контура агрегата, построение его скелета, введение функции для каждой ветки скелета, характеризующей ширину отвечающего ей участка агрегата, определение точек присоединения частиц как точек локального минимума введенной функции.

Работа метода проиллюстрирована как на модельных изображениях, так и на фрагментах изображений реальных эмульсий второго рода (вода в масле).

Предложенный метод позволяет осуществлять декомпозицию агрегатов сложной конфигурации, состоящих из большого числа частиц сферической формы. Метод может быть использован при разработке систем измерения и анализа эмульсий и других микрообъектов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072с.
2. Singh V., Marinescu D.C., Baker T.S. Image segmentation for automatic particle identification in electron micrographs based on hidden Markov random field models and expectation maximization// Journal of Structural Biology.– 2004. – №145. – P. 123-141.
3. Рузова Т. А., Карпов О. Н., Флеер Л. А. Оперативный контроль параметров частиц дисперсных образований // Науковий вісник Національного гірничого університету.–Дніпропетровськ, –2004. – № 2. – С. 83–88.
4. Толстопят А.П., Елисеев В.И. Определение скорости движущихся частиц с помощью видеокамеры // Оптические методы исследования потоков: труды XI международной научно-технической конференции. – Москва, – 2011. – С. 101–103.
5. Рузова Т. А. Модель пороговой классификации видеоизображений дисперсных образований // Збірник наукових праць НГУ. – Дніпропетровськ: РВК НГУ, 2007. – С. 162–167.
6. Рузова Т. А. Обработка видеоизображений микрообъектов методом иррегулярных пирамид // Обогащение полезных ископаемых: Научн.-техн. сб.– Днепропетровск, 2007.– Вып. 31 (72). – С. 86– 92.
7. Рузова Т.А. Построение скелетов изображений агрегированных объектов дисперсий // Науковий вісник Національного гірничого університету.– Дніпропетровськ. – 2012. – № 1 (127). – С. 107-112.
8. **Numerical Recipes In C** : The Art Of Scientific Computing 2nd Ed / Press W.H., Flannery B.P., Teukolsky S.A., Vetterling W.T.. – Cambridge University Press, 1992.– 967 p.

T.A. Ruzova

*Dnepropetrovsk national university, Ukraine,  
49010, Ukraine, Dnepropetrovsk, Gagarin av., 72, E-mail: ruzov1973@bk.ru*

## AGGREGATES OF COMPLEX SHAPE DECOMPOSITION

The purpose of investigation is to create method for segmentation of aggregated structures of spherical particles (emulsion drops) in dispersive formations. Method is to be resistant to image noises and to allow processing aggregates of complex shape. Effect of the method is illustrated at model images as well as at the images of real emulsion fragments (type II emulsions – water in oil).

Method may be used to design systems for emulsions (and other micro objects) measuring and analyzing.

IMAGE SKELETON, AGGREGATE, DISPERSIVE STRUCTURES, SEGMENTATION, PARTICLES CONNECTING POINTS.